

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 2 年 4 月 1 6 日
Date of Application:

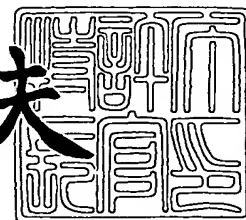
出 願 番 号 特 願 2 0 0 2 - 1 1 3 5 6 2
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 2 - 1 1 3 5 6 2]

出 願 人 J F E ス チ ール 株 式 会 社
Applicant(s):

2 0 0 3 年 1 1 月 2 6 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 A000107228

【提出日】 平成14年 4月16日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 C21D 9/00
C21D 1/42

【発明の名称】 鋼材の熱処理方法及びそのプログラム

【請求項の数】 6

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日本鋼管株式会
社内

【氏名】 飯島 慶次

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日本鋼管株式会
社内

【氏名】 水野 浩

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日本鋼管株式会
社内

【氏名】 関根 宏

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日本鋼管株式会
社内

【氏名】 鈴木 宣嗣

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日本鋼管株式会
社内

【氏名】 杉岡 正敏

【特許出願人】

【識別番号】 000004123

【氏名又は名称】 日本鋼管株式会社

【代理人】

【識別番号】 100058479

【弁理士】

【氏名又は名称】 鈴江 武彦

【電話番号】 03-3502-3181

【選任した代理人】

【識別番号】 100084618

【弁理士】

【氏名又は名称】 村松 貞男

【選任した代理人】

【識別番号】 100068814

【弁理士】

【氏名又は名称】 坪井 淳

【選任した代理人】

【識別番号】 100092196

【弁理士】

【氏名又は名称】 橋本 良郎

【選任した代理人】

【識別番号】 100088683

【弁理士】

【氏名又は名称】 中村 誠

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 011567

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9718255

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 鋼材の熱処理方法及びそのプログラム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 熱処理ラインに適宜の間隔で配設された複数の誘導加熱装置を用いて鋼材を移送しつつ加熱する鋼材の熱処理方法において、

第 1 の誘導加熱装置によって加熱される前の鋼材温度と、加熱後の鋼材温度と、前記鋼材を加熱するために前記第 1 の誘導加熱装置に供給した電力とから前記第 1 の誘導加熱装置の加熱効率を求め、

前記求めた加熱効率を用いて次段に配された第 2 の誘導加熱装置に供給する前記鋼材を目標温度に加熱するための電力を決定して、この決定された電力を前記第 2 の誘導加熱装置に供給して制御し、

前記鋼材の移送に合わせて、この一連の処理を繰り返して鋼材を加熱すること
を特徴とする鋼材の熱処理方法。

【請求項 2】 熱処理ラインに適宜の間隔で配設された複数の誘導加熱装置を用いて鋼材を移送しつつ加熱する鋼材の熱処理方法において、

前記鋼材を移送方向に沿って複数のブロックに区分し、

第 1 の誘導加熱装置によって加熱される前の前記ブロックの鋼材温度と、加熱後の前記ブロックの鋼材温度と、前記ブロックの鋼材を加熱するために前記第 1 の誘導加熱装置に供給した電力とから前記第 1 の誘導加熱装置の加熱効率を前記ブロックについて求め、

前記ブロックについて求めた加熱効率を用いて次段に配された第 2 の誘導加熱装置に供給する前記ブロックを目標温度に加熱するための電力を決定して、この決定された電力を前記第 2 の誘導加熱装置に供給して制御し、

前記ブロックの移送に合わせて、この一連の処理を繰り返して鋼材を加熱すること
を特徴とする鋼材の熱処理方法。

【請求項 3】 熱処理ラインに適宜の間隔で配設された複数の誘導加熱装置を用いて鋼材を移送しつつ加熱する鋼材の熱処理方法において、

前記鋼材を移送方向に沿って複数のブロックに区分し、

前記誘導加熱装置によって加熱される前の第1のブロックの鋼材温度と、加熱後の前記第1のブロックの鋼材温度と、前記第1のブロックの鋼材を加熱するために前記誘導加熱装置に供給した電力とから前記誘導加熱装置の加熱効率を前記第1のブロックについて求め、

前記第1のブロックについて求めた加熱効率を用いて、前記第1のブロックに続くブロックである第2のブロックを目標温度に加熱するために前記誘導加熱装置に供給する電力を決定して、この決定された電力を前記誘導加熱装置に供給して制御し、

前記鋼材の移送に合わせて、この一連の処理を繰り返して鋼材を加熱することを特徴とする鋼材の熱処理方法。

【請求項4】 熱処理ラインに適宜の間隔で配設された複数の誘導加熱装置を用いて鋼材を移送しつつ加熱する鋼材の熱処理制御プログラムにおいて、
コンピュータに、

第1の誘導加熱装置によって加熱される前の鋼材温度と、加熱後の鋼材温度と、前記鋼材を加熱するために前記第1の誘導加熱装置に供給した電力とから前記第1の誘導加熱装置の加熱効率を求める手順、

前記求めた加熱効率を用いて次段に配された第2の誘導加熱装置に供給する前記鋼材を目標温度に加熱するための電力を決定して、この決定された電力を前記第2の誘導加熱装置に供給して制御する手順、

前記鋼材の移送に合わせて、この一連の処理を繰り返して鋼材を加熱する手順を実行させるためのプログラム。

【請求項5】 熱処理ラインに適宜の間隔で配設された複数の誘導加熱装置を用いて鋼材を移送しつつ加熱する鋼材の熱処理制御プログラムにおいて、
コンピュータに、

前記鋼材を移送方向に沿って複数のブロックに区分する手順、

第1の誘導加熱装置によって加熱される前の前記ブロックの鋼材温度と、加熱後の前記ブロックの鋼材温度と、前記ブロックの鋼材を加熱するために前記第1の誘導加熱装置に供給した電力とから前記第1の誘導加熱装置の加熱効率を前記ブロックについて求める手順、

前記ブロックについて求めた加熱効率を用いて次段に配された第2の誘導加熱装置に供給する前記ブロックを目標温度に加熱するための電力を決定して、この決定された電力を前記第2の誘導加熱装置に供給して制御する手順、

前記ブロックの移送に合わせて、この一連の処理を繰り返して鋼材を加熱する手順、
を実行させるためのプログラム。

【請求項6】 熱処理ラインに適宜の間隔で配設された複数の誘導加熱装置を用いて鋼材を移送しつつ加熱する鋼材の熱処理制御プログラムにおいて、

コンピュータに、

前記鋼材を移送方向に沿って複数のブロックに区分する手順、

前記誘導加熱装置によって加熱される前の第1のブロックの鋼材温度と、加熱後の前記第1のブロックの鋼材温度と、前記第1のブロックの鋼材を加熱するために前記誘導加熱装置に供給した電力とから前記誘導加熱装置の加熱効率を前記第1のブロックについて求める手順、

前記第1のブロックについて求めた加熱効率を用いて、前記第1のブロックに続くブロックである第2のブロックを目標温度に加熱するために前記誘導加熱装置に供給する電力を決定して、この決定された電力を前記誘導加熱装置に供給して制御する手順、

前記鋼材の移送に合わせて、この一連の処理を繰り返して鋼材を加熱する手順、
を実行させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、誘導加熱装置を用いて鋼材を加熱処理する技術に関する。

【0002】

【従来の技術】

鋼材を移送しながら加熱する誘導加熱装置の制御方法に関しては、例えば特開昭55-78490号公報において、実昇温量と目標昇温量の差から誘導加熱装

置の操作量の補正值を求め、その補正值を次加熱材以降の操作量に反映させる制御方法が開示されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、誘導加熱装置で鋼材を加熱する場合、鋼材の表面が主に加熱され、鋼材内部は主に表面からの熱伝導により加熱される。このため表面温度の検出値からその鋼材の昇温量を推定するためには鋼材内部の熱伝導を考慮する必要があることから、上記制御方法においては制御精度上の課題が指摘できる。

【0004】

またこの制御方法では、調整ゲインの値を調整する必要があるが、どのように調整すべきかが開示されていない。さらに、温度制御結果は以降の加熱材に適用されるが、現在加熱している鋼材に関しては、自身の温度測定結果が反映されない。このように、上記制御方法を実機に適用するに際しては、なお解決すべき課題がある。

【0005】

本発明は係る事情に鑑みてなされたものであって、現在加熱している鋼材の加熱制御結果を、その鋼材自身の加熱制御に反映することができ、鋼材の温度を精度良く加熱することができる鋼材の熱処理方法およびそのプログラムを提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解消するための本発明は、第1の誘導加熱装置によって加熱される前の鋼材温度と、加熱後の鋼材温度と、前記鋼材を加熱するために第1の誘導加熱装置に供給した電力とから第1の誘導加熱装置の加熱効率を求め、求めた加熱効率を用いて次段に配された第2の誘導加熱装置に供給する鋼材を目標温度に加熱するための電力を決定して、この決定された電力を第2の誘導加熱装置に供給して制御し、鋼材の移送に合わせて、この一連の処理を繰り返して鋼材を加熱する鋼材の熱処理方法である。

【0007】

また本発明は、鋼材を移送方向に沿って複数のブロックに区分し、第1の誘導加熱装置によって加熱される前のブロックの鋼材温度と、加熱後のブロックの鋼材温度と、ブロックの鋼材を加熱するために第1の誘導加熱装置に供給した電力とから第1の誘導加熱装置の加熱効率をブロックについて求め、ブロックについて求めた加熱効率を用いて次段に配された第2の誘導加熱装置に供給するブロックを目標温度に加熱するための電力を決定して、この決定された電力を第2の誘導加熱装置に供給して制御し、ブロックの移送に合わせて、この一連の処理を繰り返して鋼材を加熱する鋼材の熱処理方法である。

【0008】

また本発明は、鋼材を移送方向に沿って複数のブロックに区分し、誘導加熱装置によって加熱される前の第1のブロックの鋼材温度と、加熱後の第1のブロックの鋼材温度と、第1のブロックの鋼材を加熱するために誘導加熱装置に供給した電力とから誘導加熱装置の加熱効率を第1のブロックについて求め、第1のブロックについて求めた加熱効率を用いて、第1のブロックに続くブロックである第2のブロックを目標温度に加熱するために誘導加熱装置に供給する電力を決定して、この決定された電力を誘導加熱装置に供給して制御し、鋼材の移送に合わせて、この一連の処理を繰り返して鋼材を加熱する鋼材の熱処理方法である。

【0009】

また本発明は、コンピュータに、第1の誘導加熱装置によって加熱される前の鋼材温度と、加熱後の鋼材温度と、鋼材を加熱するために第1の誘導加熱装置に供給した電力とから第1の誘導加熱装置の加熱効率を求める手順、求めた加熱効率を用いて次段に配された第2の誘導加熱装置に供給する鋼材を目標温度に加熱するための電力を決定して、この決定された電力を第2の誘導加熱装置に供給して制御する手順、鋼材の移送に合わせて、この一連の処理を繰り返して鋼材を加熱する手順を実行させるためのプログラムである。

【0010】

また本発明は、コンピュータに、鋼材を移送方向に沿って複数のブロックに区分する手順、第1の誘導加熱装置によって加熱される前のブロックの鋼材温度と、加熱後のブロックの鋼材温度と、ブロックの鋼材を加熱するために第1の誘導

加熱装置に供給した電力とから第1の誘導加熱装置の加熱効率をブロックについて求める手順、ブロックについて求めた加熱効率を用いて次段に配された第2の誘導加熱装置に供給するブロックを目標温度に加熱するための電力を決定して、この決定された電力を第2の誘導加熱装置に供給して制御する手順、ブロックの移送に合わせて、この一連の処理を繰り返して鋼材を加熱する手順、を実行させるためのプログラムである。

【0011】

また本発明は、コンピュータに、鋼材を移送方向に沿って複数のブロックに区分する手順、誘導加熱装置によって加熱される前の第1のブロックの鋼材温度と、加熱後の第1のブロックの鋼材温度と、第1のブロックの鋼材を加熱するために誘導加熱装置に供給した電力とから誘導加熱装置の加熱効率を第1のブロックについて求める手順、第1のブロックについて求めた加熱効率を用いて、第1のブロックに続くブロックである第2のブロックを目標温度に加熱するために誘導加熱装置に供給する電力を決定して、この決定された電力を誘導加熱装置に供給して制御する手順、鋼材の移送に合わせて、この一連の処理を繰り返して鋼材を加熱する手順、を実行させるためのプログラムである。

【0012】

【発明の実施の形態】

図1は、本発明の第1の実施の形態に係る誘導加熱装置の概略構成を示す側面図である。

ライン上には誘導加熱装置1が複数台設置されており、被加熱材である鋼材2は図中左から右の方向に搬送されながら、それぞれの誘導加熱装置1によって加熱される。

【0013】

初段の誘導加熱装置1の入側には温度検出器3が備えられ、加熱前の鋼材2の温度を検出する。検出された温度は制御装置4に入力され、制御装置4は鋼材2の温度から、それぞれの誘導加熱装置1に供給すべき電力量を計算し、電力供給装置5に対してその電力量を設定値として出力する。

【0014】

そして、電力供給装置 5 は誘導加熱装置 1 の電力を制御装置 4 からの設定値になるよう制御する。この加熱処理された鋼材 2 の温度は誘導加熱装置 1 の出側に備えられた温度検出器 6 によって測定される。

【0015】

尚、制御装置 4 には搬送ローラ 7 から搬送パルスが入力され、制御装置 4 はこのパルス信号に基づいて、鋼材 2 の搬送速度、搬送量を計算する。

【0016】

次に、本構成の誘導加熱装置 1 を用いて鋼材 2 の温度を制御する方法について説明する。

本実施の形態では、鋼材 2 の移動方向の温度を精度良く制御するため、鋼材 2 を仮想的に複数の部分（以下、「仮想部分」という）に分割して温度を管理する。図 1 で鋼材 2 に記された点線が仮想部分の境界を示している。この仮想部分に記載された番号 $i-1$ 、 i 、 $i+1$ は、鋼材 2 の先頭からの順番を表したものである。

【0017】

先ず誘導加熱装置 1 前後の温度検出値から誘導加熱装置での加熱効率を求める。

誘導加熱装置 1 で鋼材 2 を加熱すると、誘導電流は表面近傍に集中して流れるため、主に表面が加熱され、鋼材内部は、表面からの熱伝導で加熱される。そこで、誘導加熱装置 1 で加熱を行う場合の鋼材内部の誘導電流分布を求める。鋼材内部の電流分布は、浸透深さで表現される。この浸透深さは周波数、比透磁率で異なり、式(1)で表される。

【0018】

$$\delta = 5.03 * \sqrt{(R / \mu / f_x)} / 100 \quad \cdots (1)$$

ただし、 δ :浸透深さ、 R :比抵抗、 μ :比透磁率、 f_x :周波数。

【0019】

浸透深さ δ が大きい場合には誘導電流が鋼材内部まで流れるが、浸透深 δ が小さい場合には、誘導電流が表面に集中するため加熱も表面に集中し、鋼材内部は表面からの熱伝導により加熱されることになる。したがって、同じ電力を投入し

ても、浸透深さが異なれば表面の加熱温度は変わってくることになる。そこで、式(1)に基づいて浸透深さを求めて鋼材内部での電流密度分布を決定し、この電流分布から誘導加熱装置1への投入電力を決定する。

【0020】

一般的に鋼材表面からの距離 z と、その位置における誘導電流 $I(z)$ の関係は式(2)で表される。 α は定数である。

【0021】

$$I(z) = \alpha \exp(-z/\delta) \quad \dots (2)$$

よって、鋼材表面からの距離 z での消費電力の比は式(3)で表される。

【0022】

$$E_0(z) = I(z)^2 / \int I(z)^2 \quad \dots (3)$$

すなわち、式(3)を誘導加熱の際の電力分布と考えることができる。

【0023】

次に、この誘導加熱装置を用いた加熱過程における鋼材の温度変化を数式を用いて表す。熱伝導方程式の差分式から、(4)式を得る。

【0024】

【数1】

$$\frac{x_{i,j+1} - x_{i,j}}{dt} = K \frac{1}{2} \left\{ \frac{x_{i+1,j+1} - 2x_{i,j+1} + x_{i-1,j+1}}{h^2} + \frac{x_{i+1,j} - 2x_{i,j} + x_{i-1,j}}{h^2} \right\} + Q_1 \quad \dots (4)$$

$$K = \lambda / c_p / \rho \quad \dots (5)$$

$$h = t / nb \quad \dots (6)$$

ただし、 nb : 鋼材の厚み方向の分割数、 t : 鋼材の厚さ、 c_p : 比熱

$x_{i,j}$: 時刻 j における厚み方向 i の温度 ($1 \leq i \leq nb$)

h : 厚み方向分割幅、 dt : サンプル周期、 λ : 熱伝導率、

Q_1 : 外部から鋼材に加わる熱量、 ρ : 密度

式(4)から、被加熱材をその厚み方向に三分割した温度計算式は下式になる。

【0025】

【数2】

$$\begin{bmatrix} \frac{K}{h^2} + \frac{1}{dt} & -\frac{K}{2h^2} & 0 \\ -\frac{K}{2h^2} & \frac{K}{h^2} + \frac{1}{dt} & -\frac{K}{2h^2} \\ 0 & -\frac{K}{2h^2} & \frac{K}{h^2} + \frac{1}{dt} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{3,j+1} \\ x_{2,j+1} \\ x_{1,j+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{dt} - \frac{K}{h^2} & \frac{K}{2h^2} & 0 \\ \frac{K}{2h^2} & \frac{1}{dt} - \frac{K}{h^2} & \frac{K}{2h^2} \\ 0 & \frac{K}{2h^2} & \frac{1}{dt} - \frac{K}{h^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{3,j} \\ x_{2,j} \\ x_{1,j} \end{bmatrix} + Q_1 \quad (7)$$

式(7)の Q_1 は境界条件である大気との熱伝達と、加熱装置からの供給される熱量からなる。式(7)は式(8)、(10)で表される。

【0026】

【数3】

$$Q_1 = Q + \beta B_0 u_b \quad (8)$$

$$Q = \begin{bmatrix} \frac{1}{h} \frac{\varepsilon \sigma}{c_p \rho} (x_{3,j}^4 - T_a^4) + \lambda (x_{3,j} - T_a) \\ 0 \\ \frac{1}{h} \frac{\varepsilon \sigma}{c_p \rho} (x_{1,j}^4 - T_a^4) + \lambda (x_{1,j} - T_a) \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$B_0 = \frac{1}{c_p \rho} \begin{bmatrix} E(3) \\ E(2) \\ E(1) \end{bmatrix} \quad (10)$$

ただし、 u_b : 加熱装置供給熱量、 σ : ステファン-ボルツマン定数

ε : 放射率、 ρ : 密度、 c_p : 比熱、 β : 加熱効率、 T_a : 大気温度

$E(i)$ ($i=1, 2, 3$) は、式 (3) を差分式で表現したものである。

ここで、式 (9) を $x_{i,j}$ について線形化する。鋼材の温度を x_0 と仮定し、 x_0 を中心に式 (9) にある $x_{i,j}^4$ の項をテーラ展開の一次の項までを使用して線形近似する。1次までのテーラ展開は式 (11) で表される。そして式 (11) を利用して、式 (12) を得る

【数 4】

$$x_{i,j}^4 = -3x_0^4 + 4x_0^3 x_{i,j} \quad (11)$$

$$Q = - \begin{bmatrix} \left(\frac{1}{h} \frac{1}{c_p \rho} 4\sigma \epsilon x_0^3 + \lambda \right) x_{3,j} \\ 0 \\ \left(\frac{1}{h} \frac{1}{c_p \rho} 4\sigma \epsilon x_0^3 + \lambda \right) x_{1,j} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \frac{1}{h} \frac{1}{c_p \rho} \sigma \epsilon \left(-3x_0^4 - T_a^4 \right) - \lambda T_a \\ 0 \\ \frac{1}{h} \frac{1}{c_p \rho} \sigma \epsilon \left(-3x_0^4 - T_a^4 \right) - \lambda T_a \end{bmatrix} \quad (12)$$

式 (12) を用い、式 (7) を整理して式 (13) を得る。

【0027】

【数 5】

$$E \begin{bmatrix} x_{3,j+1} \\ x_{2,j+1} \\ x_{1,j+1} \end{bmatrix} = A_0 \begin{bmatrix} x_{3,j} \\ x_{2,j} \\ x_{1,j} \end{bmatrix} + Q + \beta B_0 u_B \quad (13)$$

ただし、

$$E = \begin{bmatrix} \frac{K}{h^2} + \frac{1}{dt} & -\frac{K}{2h^2} & 0 \\ -\frac{K}{2h^2} & \frac{K}{h^2} + \frac{1}{dt} & -\frac{K}{2h^2} \\ 0 & -\frac{K}{2h^2} & \frac{K}{h^2} + \frac{1}{dt} \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$A_0 = \begin{bmatrix} \frac{1}{dt} - \frac{K}{h^2} - \left(\frac{1}{h} \frac{1}{c_p \rho} 4\sigma \epsilon x_0^3 + \lambda \right) & \frac{K}{2h^2} & 0 \\ \frac{K}{2h^2} & \frac{1}{dt} - \frac{K}{h^2} & \frac{K}{2h^2} \\ 0 & \frac{K}{2h^2} & \frac{1}{dt} - \frac{K}{h^2} - \left(\frac{1}{h} \frac{1}{c_p \rho} 4\sigma \epsilon x_0^3 + \lambda \right) \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$Q = - \begin{bmatrix} \frac{1}{h} \frac{1}{c_p \rho} \sigma \epsilon \left(-3x_0^4 - T_a^4 \right) - \lambda T_a \\ 0 \\ \frac{1}{h} \frac{1}{c_p \rho} \sigma \epsilon \left(-3x_0^4 - T_a^4 \right) - \lambda T_a \end{bmatrix} \quad (16)$$

式(13)において、行列Eの逆行列を左側から掛けることにより、式(17)、式(18)を得る。

【0028】

【数 6】

$$\begin{bmatrix} x_{3,j+1} \\ x_{2,j+1} \\ x_{1,j+1} \end{bmatrix} = E^{-1} A_0 \begin{bmatrix} x_{3,j} \\ x_{2,j} \\ x_{1,j} \end{bmatrix} + E^{-1} Q + \beta E^{-1} B_0 u_b \quad (17)$$

$$\begin{bmatrix} x_{3,j+1} \\ x_{2,j+1} \\ x_{1,j+1} \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} x_{3,j} \\ x_{2,j} \\ x_{1,j} \end{bmatrix} + \beta B u_b + F \quad (18)$$

ただし、

$$A = E^{-1} A_0 \quad (19)$$

$$F = E^{-1} Q \quad (20)$$

$$B = \beta E^{-1} B_0 \quad (21)$$

式 (18) が鋼材の温度変化の基本式となる。 $u_b = 0$ とすると、大気による冷却過程時の温度変化を表す式となる。

【0 0 2 9】

次に、この式を用いて、誘導加熱装置手前温度検出器位置から、誘導加熱装置出側の温度検出器位置までの温度変化を表す式を作成する。

【0 0 3 0】

図 1 における区間 1、区間 2、区間 3 の距離をそれぞれ、 l_1 、 l_2 、 l_3 、またそれぞれの区間の通過速度をそれぞれ、 v_1 、 v_2 、 v_3 とする。さらに、 $x(k)$ を下記式で定義する。

【0 0 3 1】

【数 7】

$$x(k) = \begin{bmatrix} x_{3,k} \\ x_{2,k} \\ x_{1,k} \end{bmatrix}$$

区間 1 の終端での温度は、式 (22)、(23) で表される。

【0032】

【数8】

$$n1 = l1 / v1 / dt \quad (22)$$

$$x(k + n1) = A^{n1}x(k) + \sum_{i=1}^{n1} A^{i-1}F \quad (23)$$

加熱装置での供給電力量を u_b とすると、区間2の終端での温度は、式(24)、(25)で表される。

【0033】

【数9】

$$n2 = l2 / v2 / dt \quad (24)$$

$$x(k + n1 + n2) = A^{n1+n2}x(k) + \sum_{i=1}^{n1+n2} A^{i-1}F + \beta \sum_{i=1}^{n2} A^{i-1}Bu_b \quad (25)$$

さらに区間3の終端での温度は、式(26)～(28)で表される。

【0034】

【数10】

$$n3 = l3 / v3 / dt \quad (26)$$

$$N = n1 + n2 + n3 \quad (27)$$

$$x(k + N) = A^N x(k) + \sum_{i=1}^N A^{i-1}F + \beta A^{n3} \sum_{i=1}^{n2} A^{i-1}Bu_b \quad (28)$$

これが目標温度 T_r に等しくなるように u_b を決めればよいので、式(29)が成立する。

【0035】

【数 1 1】

$$T_r = c_x x(k + N) \quad (29)$$

ただし、 T_r が表面温度の場合は、 $c_x = [1, 0, 0]$ 、 T_r が平均温度の場合には、 $c_x = [1/3, 1/3, 1/3]$ となる。よって、目標温度 T_r に加熱するための加熱装置の供給電力量は式 (30) で与えられる。

【0036】

【数 1 2】

$$u_b = \left(T_r - c_x A^N x(k) - c_x \sum_{i=1}^N A^{i-1} F \right) / \left(\beta c_x A^{n3} \sum_{i=1}^{n2} A^{i-1} B \right) \quad (30)$$

【0037】

しかしながら、加熱装置での電力損失、また供給された電力量が被加熱材を昇温させる際の加熱損失などのため、式 (30) で与えられる電力量を加熱装置に供給しても、被加熱材の昇温量が目標昇温量に達しない場合が多い。

【0038】

このため、供給電力量が被加熱材の温度上昇に及ぼす加熱効率を、実昇温量を求めることにより算出し、加熱装置の加熱効率を考慮した上で、目標昇温量を得るための供給電力量を算出する。

【0039】

被加熱材の通過速度と、加熱装置の入り側と出側に設置された温度検出器の設置間隔から、被加熱材のある部分が温度検出器間を通過する時間が求められる。先端から i 番目の部分の区間 1、区間 2、区間 3 における移動速度をそれぞれ、 $v_1(i)$ 、 $v_2(i)$ 、 $v_3(i)$ とすると温度検出器間の通過時間は式 (31) で求められる。

【0040】

$$t_b(i) = l_1 / v_1(i) + l_2 / v_2(i) + l_3 / v_3(i) \cdots (31)$$

但し、 $t_b(i)$: 温度検出器間の通過時間

したがって、加熱装置の入側および出側の温度検出器では、時間差 $t_b(i)$ をもって、被加熱材の同じ位置の温度が検出され、その際の温度検出器の検出した温度差が被加熱材の実昇温量となる。

【0041】

さらに、温度検出器の検出を周期的に行うことにより、被加熱材全体の昇温量を検出することができる。ここで、被加熱材の先端から i 番目の部分の区間の入り側温度検出器位置での温度分布を $T_{b1}(i)$ 、 $T_{b2}(i)$ 、 $T_{b3}(i)$ とする。

【0042】

そして、 $x(k, i)$ を被加熱材の時刻 k での先端から i 番目の区間の温度として式 (32) で定義する。

【0043】

【数13】

$$x(k, i) = \begin{bmatrix} T_{b1}(i) \\ T_{b2}(i) \\ T_{b3}(i) \end{bmatrix} \quad (32)$$

【0044】

式(30)で、 i 番目の効率を $\beta(i)$ として、供給電力量 $u_b(i)$ を与えた場合の出側温度検出器位置での温度が $T_{b0}(i)$ になるので、式 (33) が成立する。

【0045】

【数14】

$$T_{b0}(i) = c_x \left(A^N x(k, i) + \sum_{i=1}^N A^{i-1} F + \beta(i) A^{n3} \sum_{i=1}^{n2} A^{i-1} B u_b(i) \right) \quad (33)$$

【0046】

加熱効率は、与えられた電力供給量のうち実際に加熱に使用される電力量の割

合であり、式(33)を変形して式(34)を得る。

【0047】

【数15】

$$\beta(i) = \left(T_{bo}(i) - c_x A^N x(k, i) - c_x \sum_{i=1}^N A^{i-1} F \right) / \left(c_x A^{n3} \sum_{i=1}^{n2} A^{i-1} B u_b(i) \right) \quad (34)$$

但し、 $\beta(i)$: 加熱効率、 $u_b(i)$: 加熱装置への供給電力量

【0048】

推定された加熱効率を用いて、次加熱装置への供給電力量は以下の式で与えられる。

【0049】

【数16】

$$u_b(i) = \left(T_{bo}(i) - c_x A^N x(k, i) - c_x \sum_{i=1}^N A^{i-1} F \right) / \left(\beta(i) c_x A^{n3} \sum_{i=1}^{n2} A^{i-1} B u_b(i) \right) \quad (35)$$

【0050】

以上説明した計算方法は、制御装置4内において処理することによって実現することができる。

図2、3は、本発明に係る第1の実施の形態の加熱制御の概略の手順を示すフロー図である。

【0051】

まず、加熱しようとする鋼材の先頭から*i*番目の仮想部分について初段の加熱装置1入り側における鋼材内部の温度分布 $x(1)$ を求める(S1)。この時点における内部温度は例えば加熱炉などから搬送された状態であるため、予め定め

たパターンにより内部温度を推定するものであっても良い。

【0052】

次に、最初の誘導加熱装置 1 の電力による鋼材内部の電力分布を式 (3) により求める (S2)。そして、その電力分布に基づいて誘導加熱装置 1 から供給される熱量分布を式 (8)、(10) により求める (S3)。また、大気への放散熱量を式 (12) により求める (S4)。そして、これらの求めた結果を用いて、鋼材内部の温度変化を求めるための式 (19)、(20)、(21) で表される係数を算出する (S5)。

【0053】

以上の準備に続いて、各誘導装置 1 での制御動作が行われる。

以下の説明では j 番目の誘導加熱装置 1 を対象とするが、先ず初段の誘導加熱装置 1 についての処理を行うため、インデックス j を初期値である 1 に設定する (S6)。

【0054】

次に、j 番目の誘導加熱装置 1 についてそれぞれの区間の距離、それぞれの区間の通過速度を求める (S7)。そして、鋼材 2 が目標温度となる電力を式 (30) により算出して、該当する電力供給装置 5 に設定する (S8)。

【0055】

電力供給装置 5 はこの設定電力に基づいて、j 番目の誘導加熱装置 1 の加熱電力を制御する。そして、鋼材 2 の i 番目の仮想部分が j 番目の誘導加熱装置 1 の出側温度計 7 を通過した時点で制御装置 4 は次の処理手順を進める。

【0056】

先ず、制御装置は j 番目の誘導加熱装置 1 入り側での鋼材温度分布 $x(k)$ 、j 番目の誘導加熱装置 1 の電力実績値 u_b 、j 番目の誘導加熱装置 1 の出側での鋼材表面温度 $T_{b0}(i)$ を求める (S9)。そして、これらの値を用いて j 番目の誘導加熱装置 1 の加熱効率 $\beta(i)$ を式 (34) より算出する (S10)。

【0057】

ここで加熱効率 $\beta(i)$ は、誘導加熱装置 1 の特性、設置環境条件、加熱対象鋼材の特性などによって変動する値である。従って、ステップ S10 で求めた加

熱効率 $\beta(i)$ は、次段である $j+1$ 番目の誘導加熱装置 1 で使用する加熱効率として、例えば $j+1$ 番目の制御装置 4 に伝送する (S11)。

【0058】

また、この加熱効率 $\beta(i)$ は本来 j 番目の誘導加熱装置 1 で用いられるべき値である。そこで、この加熱効率 $\beta(i)$ を用いて、 j 番目の誘導加熱装置 1 の出側の温度分布を式 (28) によって再計算し、その結果を $j+1$ 番目の誘導加熱装置 1 の入り側の温度分布値 $x(k)$ とする (S12)。

【0059】

最終段の誘導加熱装置 1 の処理が終わっていない場合 (S13 No) は、次段の誘導加熱装置 1 についての処理にすすめるために、インデックス j を更新して (S14)、ステップ S7～S12 を繰り返して実行する。

【0060】

このように、鋼材 2 の内部温度分布を求めて加熱効率を推定し、その推定値を用いて、次段の誘導加熱装置 1 の供給電力量計算に反映させることにより、温度制御の精度を向上させることができる。

【0061】

図 4 は、本発明の第 2 の実施の形態に係る誘導加熱装置の概略構成を示す側面図であり、図 5 は、本発明に係る第 2 の実施の形態の加熱制御の概略の手順を示すフロー図である。

【0062】

加熱制御の準備処理は第 1 の実施の形態のステップ S1～S6 の手順と同様のためその詳細の説明は省略する。

【0063】

以下の説明では j 番目の誘導加熱装置 1 による i 番目の部分の鋼材の加熱処理を対象とし、その処理を順次、次の誘導加熱装置 1 に移して行く。

【0064】

j 番目の誘導加熱装置 1 についてそれぞれの区間の距離、それぞれの区間の鋼材 2 の i 番目の部分の通過速度を求める (S20)。そして、鋼材 2 の i 番目の部分が目標温度となる電力を式 (30) により算出して、該当する電力供給装置

5に設定する(S21)。

【0065】

電力供給装置5はこの設定電力に基づいて、j番目の誘導加熱装置1の加熱電力を制御する。そして、鋼材2のi番目の仮想部分がj番目の誘導加熱装置1の出側温度計7を通過した時点で制御装置4は次の処理手順を進める。

【0066】

まず、制御装置はj番目の誘導加熱装置1入り側での鋼材温度分布 $x(k)$ 、j番目の誘導加熱装置1の電力実績値 u_b 、j番目の誘導加熱装置1の出側でのi番目の部分の鋼材表面温度 $T_{b0}(i)$ を求める(S22)。そして、これらの値を用いてj番目の誘導加熱装置1の加熱効率 $\beta(i)$ を式(34)より算出する(S23)。

【0067】

ここで加熱効率 $\beta(i)$ は、誘導加熱装置1の特性、設置環境条件、加熱対象鋼材の特性などによって変動する値である。従って、ステップS23で求めた加熱効率 $\beta(i)$ は、このj番目の誘導加熱装置1で鋼材のi+1番目の部分の加熱に用いる電力を計算する式(30)に使用する加熱効率とする(S24)。

【0068】

また、この加熱効率 $\beta(i)$ は本来j番目の誘導加熱装置1で用いられるべき値である。そこで、この加熱効率 $\beta(i)$ を用いて、j番目の誘導加熱装置1の出側の温度分布を式(28)によって再計算し、その結果をj+1番目の誘導加熱装置1の入り側の温度分布値 $x(k)$ とする(S25)。

【0069】

最終段の誘導加熱装置1の処理が終わっていない場合(S26 No)は、次段の誘導加熱装置1についての処理にすすめるために、インデックスjを更新して(S27)、ステップS20～S25を繰り返して実行する。

【0070】

このように、鋼材2の内部温度分布を求めて加熱効率を推定し、その推定値を用いて、現在加熱した鋼材の以降の部分の供給電力量計算に反映させることにより、温度制御の精度を向上させることができる。

【0071】

尚、本実施の形態では、制御装置 4 と電力供給装置 5 をそれぞれの誘導加熱装置 1 毎に設けた構成であるが、本発明はこの形態に限定されるものではなく、適宜機能を集約して構成するものであっても良い。

【0072】

尚、上記実施形態には種々の段階の発明が含まれているため、開示される複数の構成要件における適宜な組み合わせにより種々の発明を抽出することができる。例えば、実施形態に示される全構成要件から幾つかの構成要件が削除されても、発明が解決しようとする課題の欄で述べた課題が解決でき、発明の効果の欄で述べられている効果が得られる場合には、この構成要件が削除された構成が発明として抽出できる。

【0073】**【発明の効果】**

以上のように本発明を用いれば、現在加熱している鋼材の加熱制御結果を、その鋼材自身の加熱制御に反映することができ、鋼材の温度を精度良く加熱することができる。

【図面の簡単な説明】**【図 1】**

本発明に係る熱処理方法が適用される熱処理設備の概略構成を示す側面図。

【図 2】

本発明に係る加熱制御の概略の手順を示すフロー図。

【図 3】

本発明に係る加熱制御の概略の手順を示すフロー図。

【図 4】

本発明に係る他の形態の熱処理方法が適用される熱処理設備の概略構成を示す側面図。

【図 5】

本発明に係る他の形態の加熱制御の概略の手順を示すフロー図。

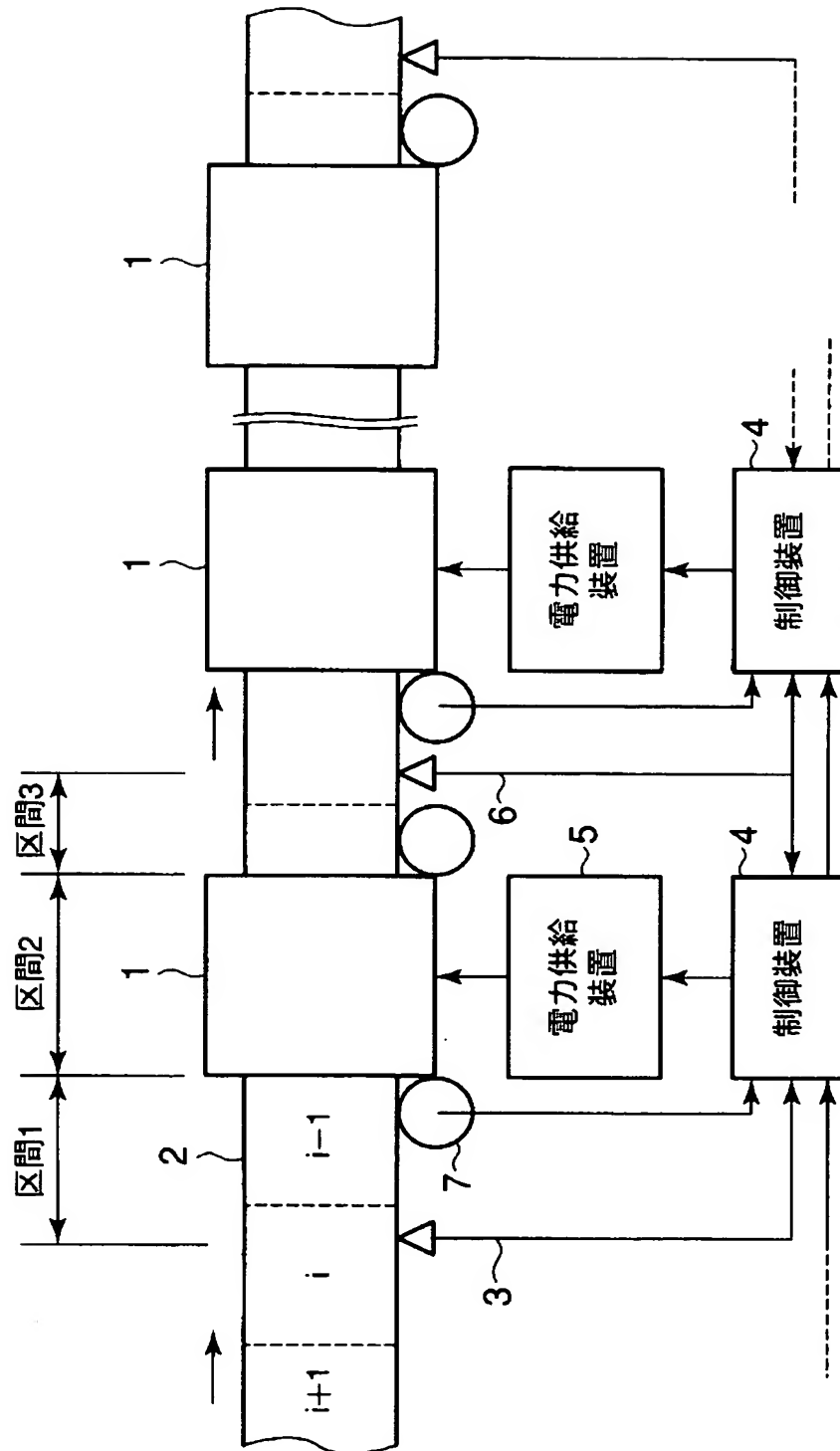
【符号の説明】

- 1 …誘導加熱装置
- 2 …鋼材
- 3 …温度検出器
- 4 …制御装置
- 5 …電力供給装置
- 6 …温度検出器
- 7 …搬送ローラ

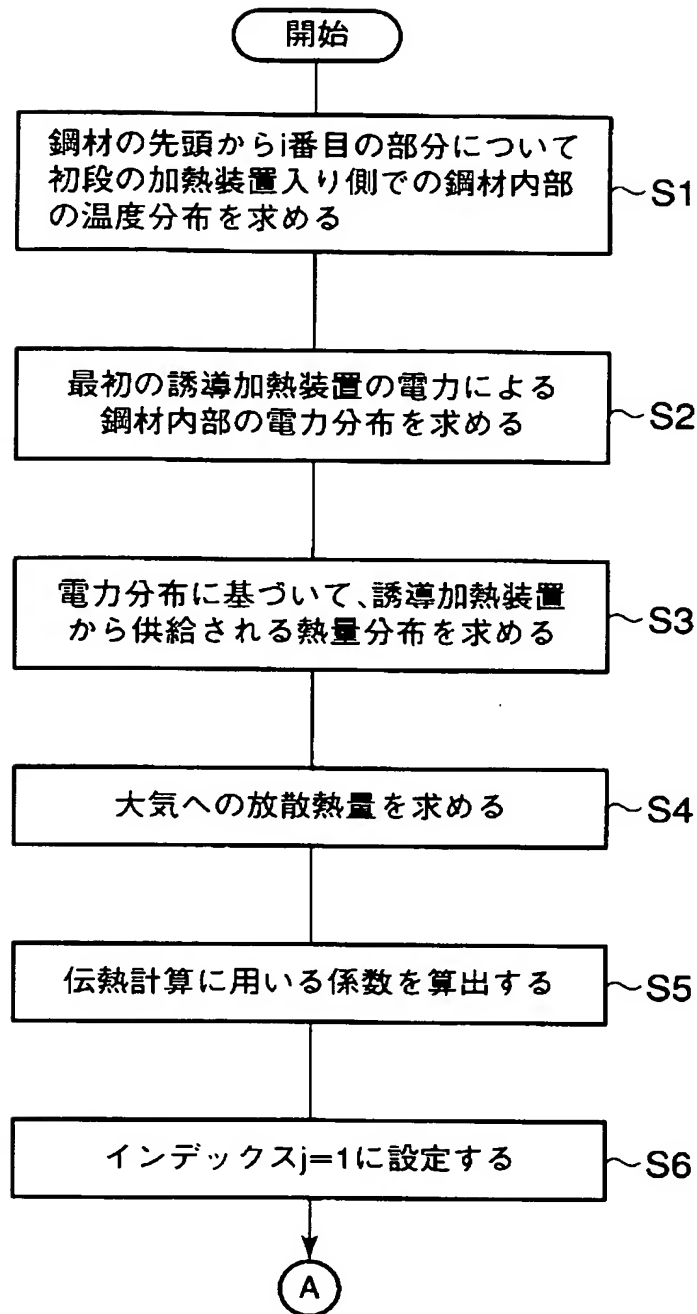
【書類名】

図面

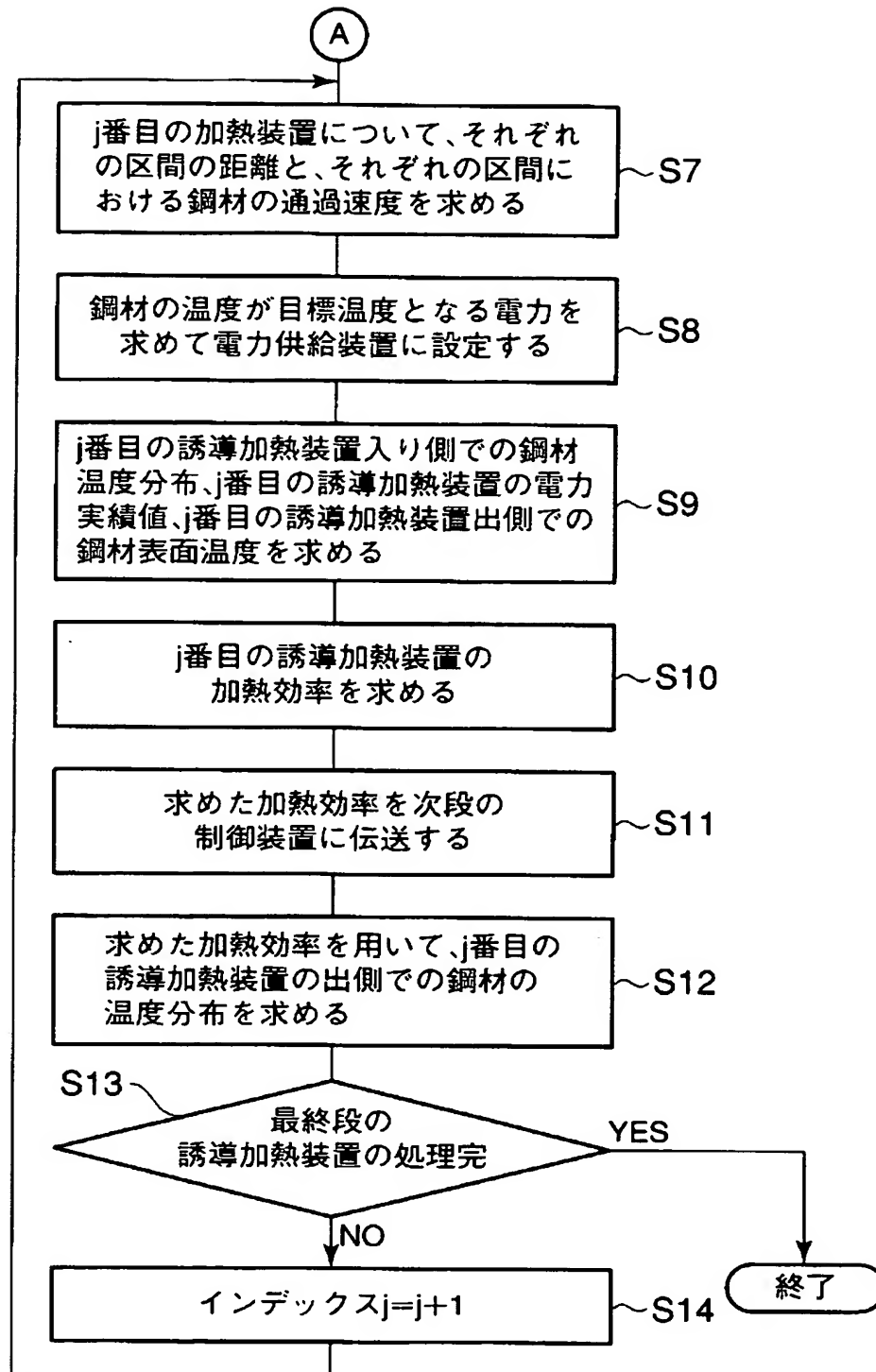
【図 1】



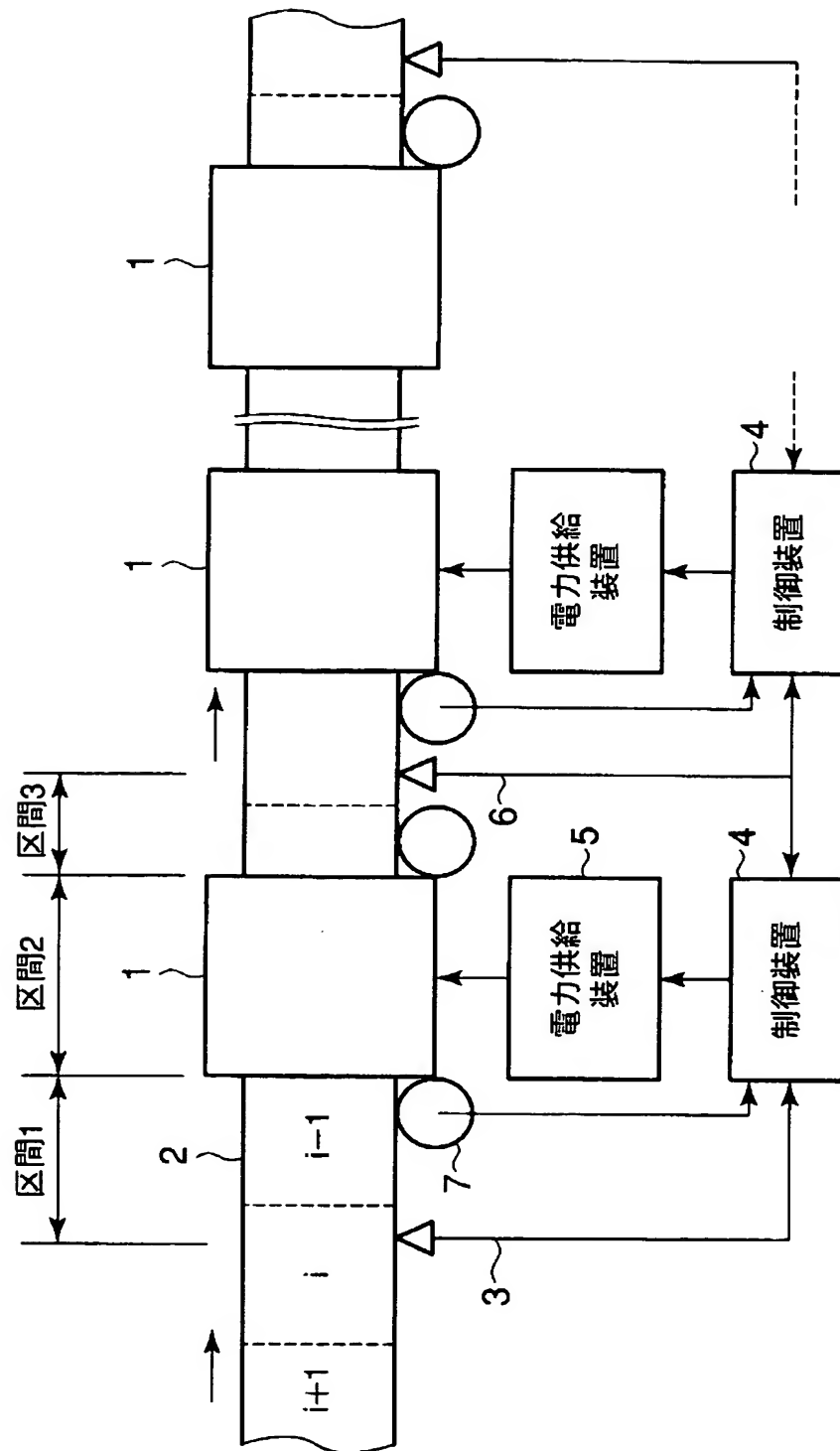
【図 2】



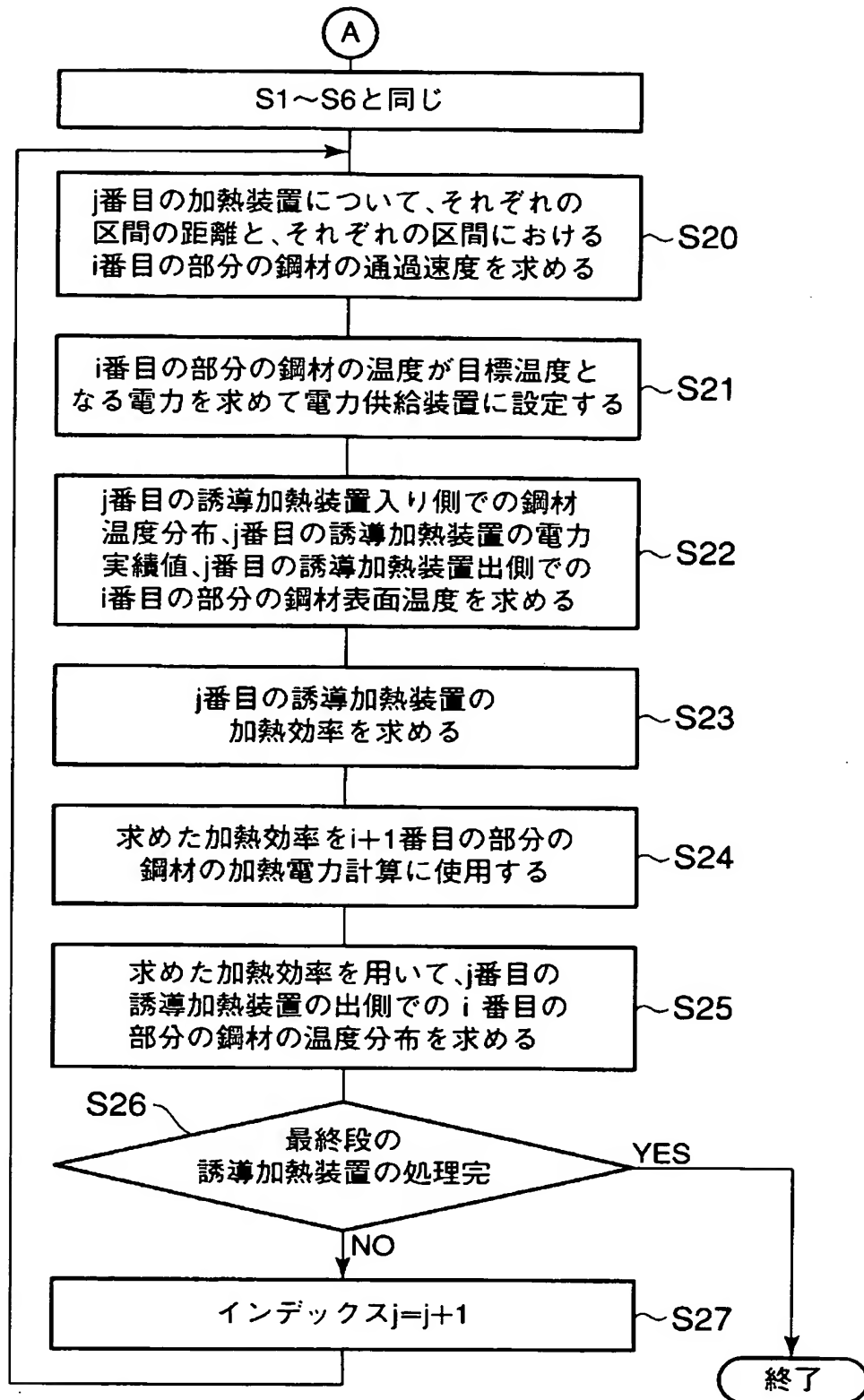
【図 3】



【図 4】



【図 5】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 現在加熱している鋼材の加熱制御結果を、その鋼材自身の加熱制御に反映することができ、鋼材の温度を精度良く加熱することができる鋼材の熱処理方法およびそのプログラムを提供する。

【解決手段】 第 1 の誘導加熱装置によって加熱される前の鋼材温度と、加熱後の鋼材温度と、前記鋼材を加熱するために第 1 の誘導加熱装置に供給した電力とから第 1 の誘導加熱装置の加熱効率を求め、求めた加熱効率を用いて次段に配された第 2 の誘導加熱装置に供給する鋼材を目標温度に加熱するための電力を決定して、この決定された電力を第 2 の誘導加熱装置に供給して制御し、鋼材の移送に合わせて、この一連の処理を繰り返して鋼材を加熱する鋼材の熱処理方法である。

【選択図】 図 1

【書類名】 出願人名義変更届（一般承継）

【整理番号】 2001-01097

【あて先】 特許庁長官殿

【事件の表示】

【出願番号】 特願2002-113562

【承継人】

【識別番号】 000001258

【氏名又は名称】 J F E スチール株式会社

【代表者】 数土 文夫

【提出物件の目録】

【物件名】 商業登記簿謄本（J F E スチール） 1

【援用の表示】 特願 2 0 0 3 - 0 9 4 3 8 0

【物件名】 商業登記簿謄本（J F E エンジニアリング） 1

【援用の表示】 特願 2 0 0 3 - 0 9 4 3 8 0

【物件名】 承継証明書 1

【援用の表示】 特願 2 0 0 3 - 0 9 4 3 8 0

【プルーフの要否】 要

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 2 - 1 1 3 5 6 2
受付番号	5 0 3 0 0 7 9 7 1 2 8
書類名	出願人名義変更届 (一般承継)
担当官	関 浩次 7 4 7 5
作成日	平成 1 5 年 6 月 3 日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】	平成 15 年 5 月 14 日
【承継人】	申請人
【識別番号】	000001258
【住所又は居所】	東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号
【氏名又は名称】	J F E スチール株式会社

次頁無

特願 2 0 0 2 - 1 1 3 5 6 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 4 1 2 3]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 1 0 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区丸の内一丁目 1 番 2 号

氏 名

日本鋼管株式会社

2. 変更年月日

2 0 0 3 年 4 月 1 日

[変更理由]

名称変更

住 所

東京都千代田区丸の内一丁目 1 番 2 号

氏 名

J F E エンジニアリング株式会社

特願 2 0 0 2 - 1 1 3 5 6 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 1 2 5 8]

1. 変更年月日 1 9 9 0 年 8 月 1 3 日
[変更理由] 新規登録
住 所 兵庫県神戸市中央区北本町通 1 丁目 1 番 2 8 号
氏 名 川崎製鉄株式会社
2. 変更年月日 2 0 0 3 年 4 月 1 日
[変更理由] 名称変更
住所変更
住 所 東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号
氏 名 J F E スチール株式会社